УДК 622.1:528

ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ГІРНИЧОДОБУВНИХ РОБІТ НА СТІЙКІСТЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Сидоренко В. Д., Куліковська О. Є.
(Криворізький технічний університет, м. Кривий Ріг, Україна)

Выполнен анализ влияния горных работ на деформацию земной поверхности в пределах Криворожского бассейна.

The analysis of influencing of mining works on deformation of earthly surface within the limits of the Krivoy Rog region is executed.

Вступ. Сьогодні територія Криворізького басейну являє собою потенційну зону, в межах якої активізовано всі чинники виникнення надзвичайних ситуацій техногенно-природного характеру, пов’язаних з суттєвими змінами природного стану геологічного середовища [1]. В субмеридіональному напрямку понад 70 км у смузі від декількох сотень метрів до 2 – 5 км здійснюються гірничодобувні роботи підземним і відкритим способами, виконуються інженерно-будівельні роботи, які пов'язані із видобутком корисних копалин. У зв’язку з цим визначення критеріїв впливу гірничих робіт на стійкість земної поверхні є актуальною науковою проблемою з точки зору прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій.

Мета та задачі досліджень. Слід поставити акцент на тому, що встановлення критеріїв прогнозування надзвичайних ситуацій через комплексне вивчення геологічного середовища як техногенно-природної системи дозволить не тільки мінімізувати ступінь ризику виникнення надзвичайних ситуацій, але й науково обґрунтовано підійти до розробки заходів їх попередження та уникнення. Це сприятиме безпечному функціонування промислових об’єктів і проживанню населення, а також дозволить вирішити низку екологічних проблем, які ставлять

гірничодобувні регіони на межу екологічного ризику. Прогнозування вертикальних і горизонтальних рухів блоків гірських порід, які можуть виникнути внаслідок поновлення природної та формування техногенної тріщинуватості в зонах розломної тектоніки, дозволить уникнути деформації залізничних і автомобільних доріг, трамвайних колій, газо- та інших трубопроводів. Моніторингові спостереження за станом дамб шламосховищ, ставків-накопичувачів, які споруджені в районах зон розломів, сприятиме попередженню їх руйнування і уникненню формування селів. У зв'язку з цим при вивченні сучасних рухів земної поверхні важливо встановити межі впливу гірничодобувних робіт на стійкість земної поверхні, величини швидкості осідань, які можна зіставляти з точністю нівелювання І класу, а також при цьому виділяти складову швидкості сучасних вертикальних рухів земної поверхні антропогенної та тектонічної природи.

Виклад матеріалу і результати. За даними досліджень [2, 3, 4] район Кривбасу підіймається з швидкістю +2,6 - +5,1 мм/рік (Δv=+2,5 мм/рік). За оцінкою повторного нівелювання ІІ класу, виконаної О. Денисовим [2] на Південному полігоні (рис. 1) середня квадратична випадкова похибка на 1 км нівелірного ходу складає η= 0,41 мм/км.

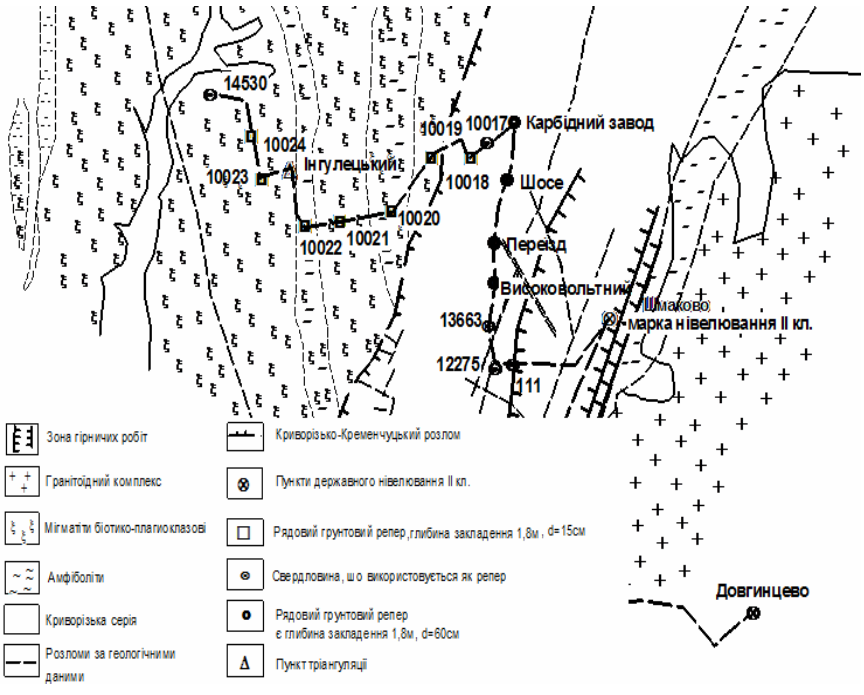

Рис. 1. Схема Південного геодинамічного полігону

В таблиці 1 приведено швидкості реперів Південного геодинамічного полігону, які обчислені відповідно до глибинного репера 14530, умовно прийнятого за нерухомий. З таблиці 1 та графіка (рис. 2) видно, що межею осідання земної поверхні під впливом гірничодобувних робіт можна прийняти репер 10018, який просторово розташований у зоні Криворізько − Кременчуцького глибинного розлому. Зона глибинного розлому слугує природним "бар'єром" за межами якого денна поверхня не піддається деформаціям під впливом гірничодобувних робіт (рис. 3).

Аналіз результатів показав, що в зоні Криворізько − Кременчуцького глибинного розлому швидкість осідання земної поверхні на 2-3 мм/рік більш, ніж на суміжних ділянках, які розташовані за її межами на один і більше кілометрів.

Максимальне опускання зафіксовано для глибинного репера 10017 і ґрунтового 10018.

Це означає, що проведення гірничодобувних робіт сприяє активізації зони глибинного розлому, яка може бути оцінена шириною 2 км від репера Карбідний завод. Рисунок вигинів земної поверхні (від репера 10019 до репера 14530) виражається чергуванням позитивних і негативних форм вигину. Така хвилеподібна форма поверхні обумовлена причинами як тектонічного, так і техногенного характеру, оскільки в результаті підземної розробки родовища відбувається перерозподіл напружено-деформованого стану гірських порід, який може привести до ізостатичної рівноваги.

По мірі віддалення від зони гірничих робіт простежується зміна швидкості осідання земної поверхні (рис. 3, 4).

Результати аналізу залежності між швидкостями рухів реперів геополігону та відстанню від зони проведення гірничих робіт, виконаного за допомогою програмного модулю STATISTICA свідчать про те, що коефіцієнт кореляції між досліджуваними параметрами $R = 0{,}88$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0{,}75$ (табл. 2). Для перевірки нульової гіпотези про відсутність якого б то не було лінійного зв'язку між змінною «швидкість осідання реперів» та незалежною зміною «віддалення від зони гірничих робіт» визначена статистика $F(1,15) = 49{,}653$; таке значення відповідає рівню значущості $p = 0{,}000004$.

Таблиця 1

Результати спостережень на Південному геодинамічному полігоні

Назва репера	Відстань між реперами, км	Віддалення від зони гірничих робіт, км	Швидкість осідання реперів полігону υ, мм/рік	Середня квадратична похибка визначення швидкості m_v, мм/рік
14530	0	11,0	0,0	
10023	1,6	9,5	+2,6	±0,36
Інгулецький	2,0	9,1	+1,3	0,44
10022	3,4	7,7	+0,7	0,57
10021	4,7	6,4	-0,7	0,68
10020	5,9	5,4	+0,7	0,75
Вохімтрест	6,9	4,7	-0,3	0,81
10019	7,5	4,5	-1,6	0,86
10018	8,4	3,5	-4,3	0,90
10017	8,9	3,0	-5,4	0,92
Карбідний завод	9,6	2,5	-3,6	0,97
Шосе	10,8	2,2	-5,0	1,01
Переїзд	11,4	2,0	-4,5	1,06
Високовольтний	12,0	2,0	-3,3	1,08
13663	14,2	1,0	-6,8	1,17
12275	15,0	0,7	-6,7	1,21
111	15,8	0,0	-10,8	1,23

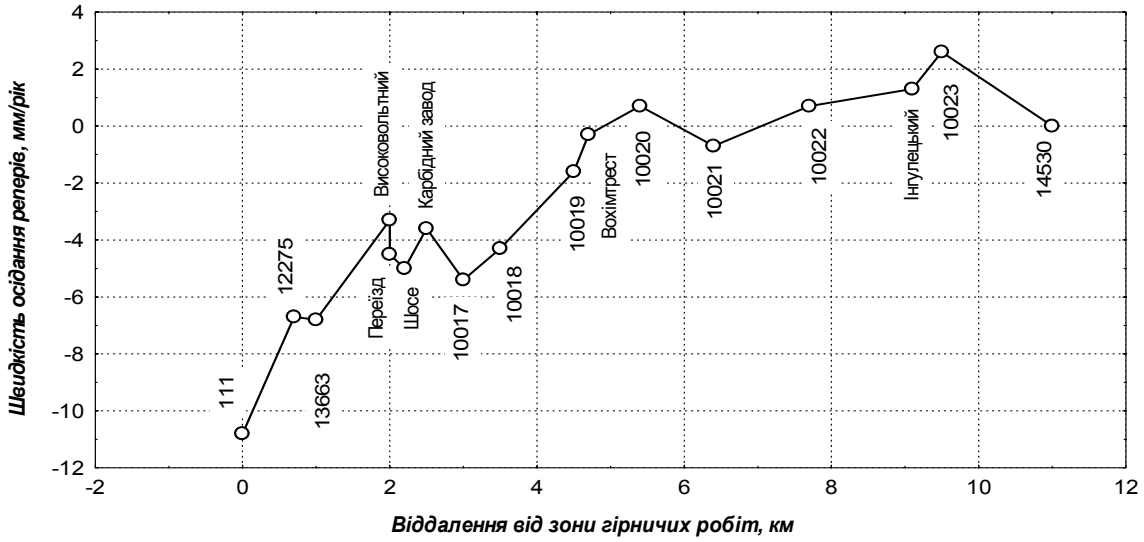

Рис. 2. Зміна швидкості сучасних рухів земної поверхні (СРЗП) по мірі віддалення від зони обвалення

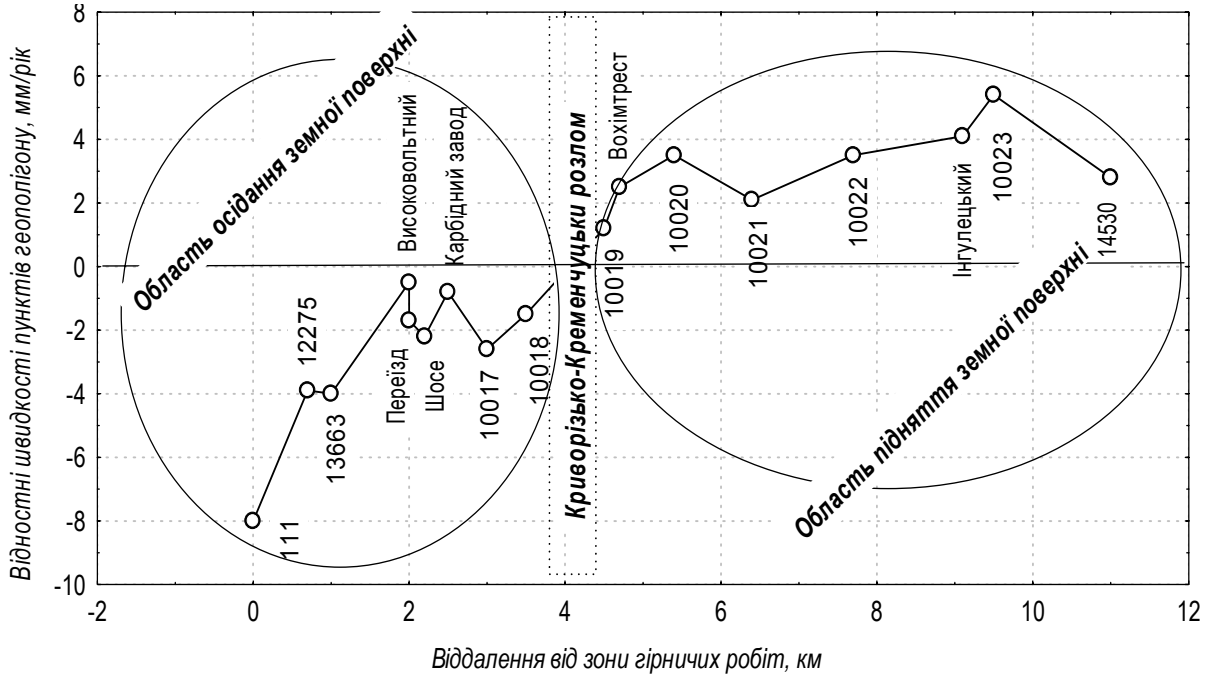

Рис. 3. Розподіл відносних швидкостей рухів пунктів геополігону по відношенню до зони Криворізько − Кременчуцького глибинного розлому

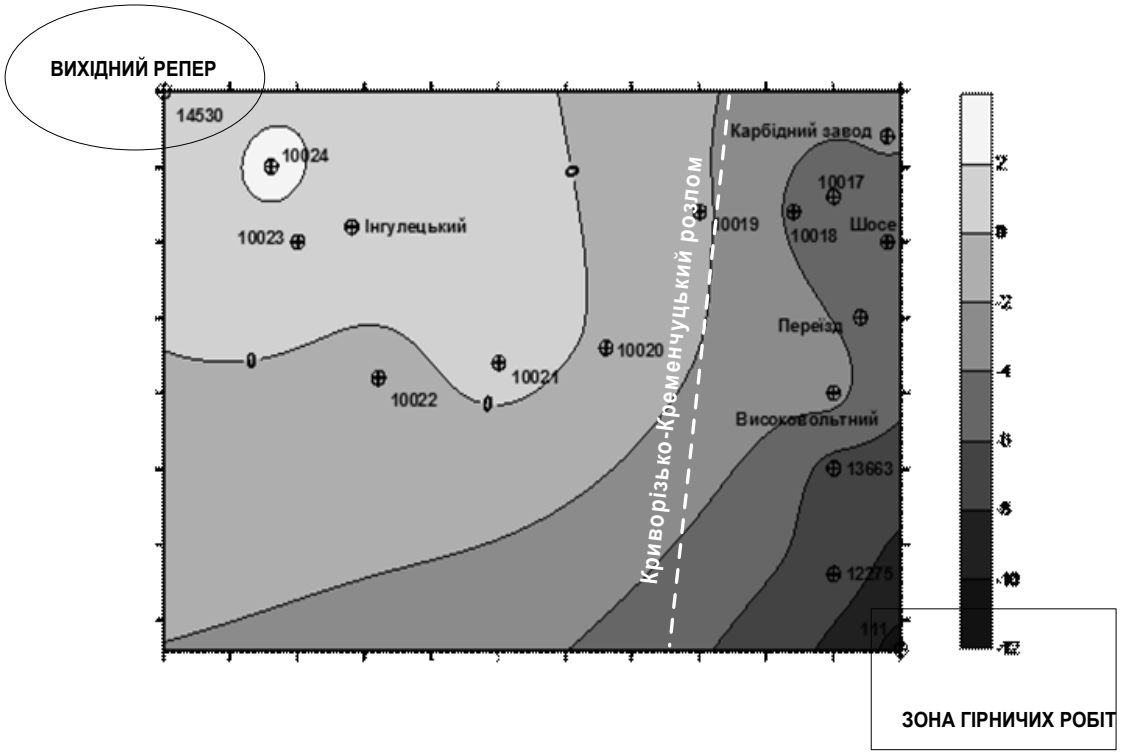

Рис. 4. Карта-схема швидкостей осідання реперів Північного геополігону

Таблиця 2

Звіт регресійного аналізу для залежної змінної
"швидкість осідання реперів"

R=0,88 R^2 = 0,77 Скорегований коефіцієнт R^2 = 0,75						
F(1,15)=49,653 p<0,00000 Станд. похибка оцінки: 1,773						
Параметри по відношенню «віддалення від гірничих робіт»	Значення коеф. BETA	Станд. похибка BETA	B	Станд. похибка коеф. B	t(15)	p-level
			-6,98375	0,732432	-9,53502	9,3E-08
	0,876351	0,124367	0,944464	0,134034	7,046475	3,9E-06

Оскільки значення *p* достатньо мале, нульова гіпотеза відхиляється, тобто кореляція є встановленою. Застосування стандартного модуля *Multiple Regression* (множинна регресія) програмного комплексу *STATISTICA* дало змогу виконати регресійний аналіз та встановити рівняння регресії, яке найкраще відображає досліджуваний процес, тобто представити довільну складну функцію зміни швидкостей осідання реперів геополігону *f(x*) простими і зручними для практичного використовування функціями *j(x)* таким чином, щоб відхилення *j(x)* від *f(x)* в області її завдання було якнайменшим по певному критерію наближення.

Нижче наводяться графіки апроксимації лінійною, поліноміальною, логарифмічною функціями відповідно (рис. 5-7).

Для оцінки якості математичних моделей емпіричної залежності використано коефіцієнт детермінації (R^2):

$$R^2 = \frac{D_j}{D_y} = 1 - \frac{D_0}{D_y}, \qquad (1)$$

де D_j - дисперсія функції наближення;

D_y - дисперсія даних;

D_0 - дисперсія залишків.

Окрім даного показника кнопка *Analysis variance* дозволила ознайомитися з результатами дисперсійного аналізу рівняння регресії (табл. 3).

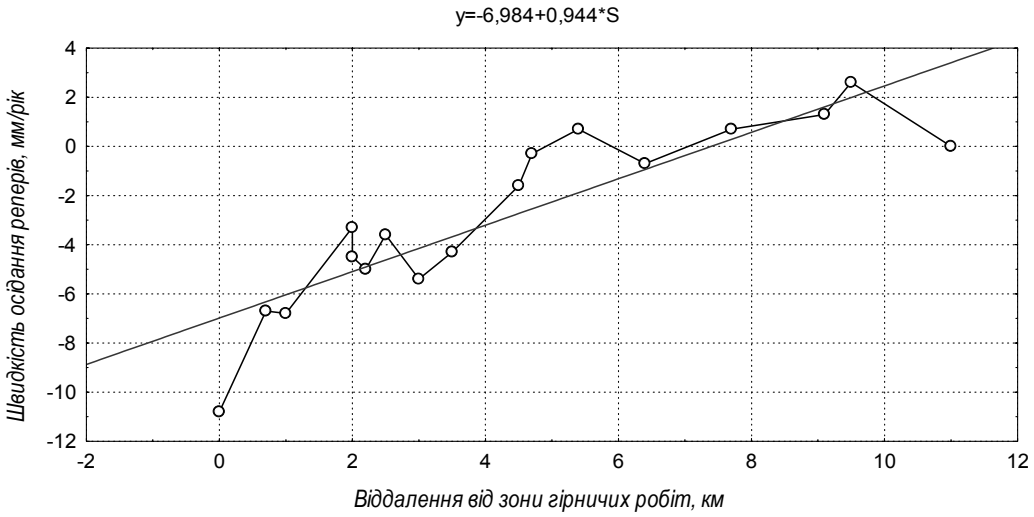

Рис. 5. Апроксимація прямолінійною залежністю

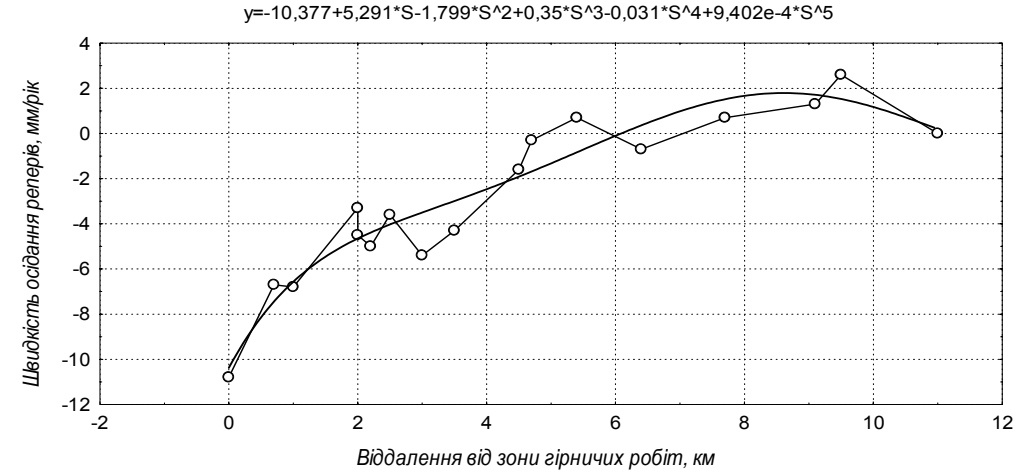

Рис. 6. Апроксимація поліноміальною кривою

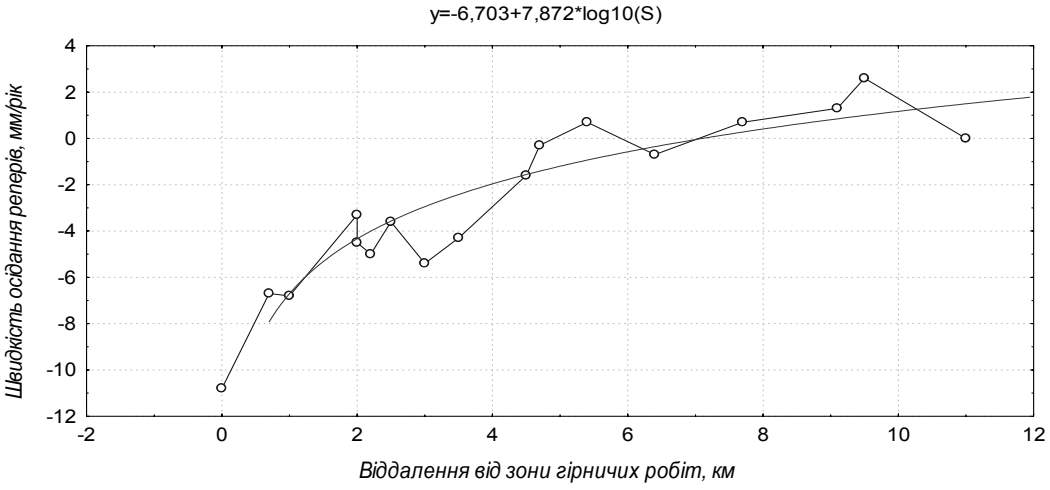

Рис. 7. Апроксимація логарифмічною кривою

Таблиця 3

Дисперсійний аналіз рівнянь регресії

Результати		Джерела варіації	Сума квадратів	Число ступенів свободи df	Середній квадрат Mean Squares	F-критерій
Логарифмічна функція						
R	0,91	Регресія Regress	178,65	1	178,6548	108,95
R^2	0,83	Залишкова Residual	24,59	15	1,64	
Скорегований R^2	0,82	Загальна Total	203,24			p-level 2,83E-08
Лінійна функція						
R	0,88	Регресія Regress	156,09	1	156,09	49,65
R^2	0,77	Залишкова Residual	47,15	15	3,14	
Скорегований R^2	0,75	Загальна Total	203,24			p-level 3,96E-06
Поліноміальна функція						
R	0,91	Регресія Regress	167,10	1	167,10	69,34
R^2	0,82	Залишкова Residual	36,14	15	2,41	
Скорегований R^2	0,81	Загальна Total	203,24			p-level 5,24E-07

F - критерії одержаних рівнянь регресії значимі на 5 % рівні. Вірогідність нульової гіпотези (p-level) значно менше 0,05, що говорить про загальну значущість рівнянь регресії. Всі коефіцієнти рівнянь регресії (за винятком вільних членів) значущі на 5 % рівні (p-level < 0,05).

Користуючись положенням: чим вище якість апроксимації, тим ближче до 1 значення коефіцієнта детермінації, можна зробити висновок про те, що всі моделі достатньо значимі. В цілому, підібрані рівняння пояснюють75,2 % (R^2 = 0,752 - для лінійної

апроксимації); 82,2 % (R^2 = 0,822 - для логарифмічної апроксимації); 81,0 % (R^2 = 0,810 - для поліноміальної апроксимації) варіації залежної змінної «швидкість осідання реперів» (рис. 8). Відповідно величина $1 – R^2$ характеризує частку дисперсії змінної у, викликану впливом всіх інших, неврахованих в даній моделі пояснюючих змінних, очевидно, частка всіх неврахованих в одержаних моделях відповідних змінних для лінійної, логарифмічної та поліноміальної апроксимацій складає відповідно 24,8 %; 17,8 % та 19,0 %.

Для визначення якості виконаної апроксимації можна скористуватися і середньою похибкою апроксимації, яка знаходиться за формулою

$$A = \frac{1}{n}\sum\left[\frac{\left(y-\bar{y}\right)}{y}\right]\cdot 100\%, \qquad (2)$$

де $\bar{y}$ – оцінка умовного математичного очікування;

n – кількість вимірів.

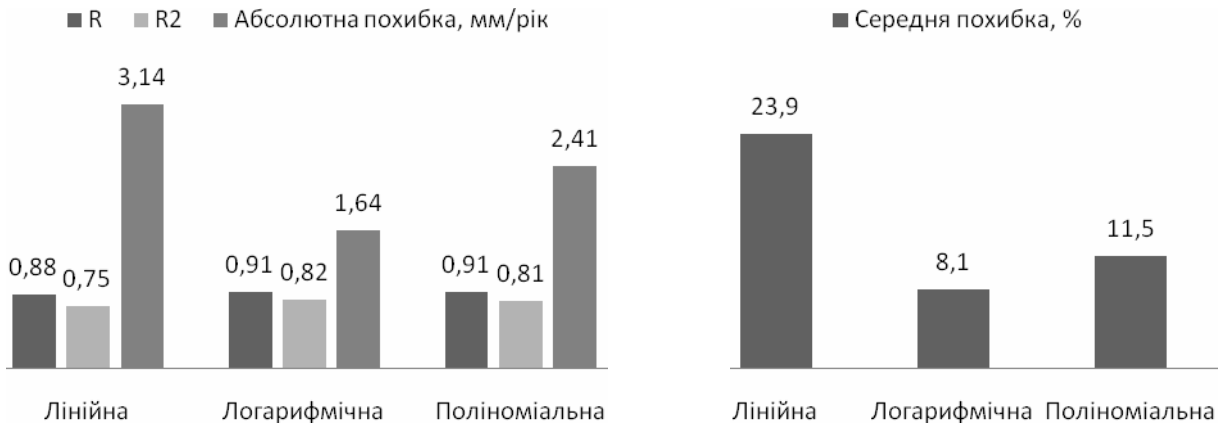

Рис. 8. Результати узагальнення регресійного аналізу

Зазвичай вважають, що значення середньої помилки апроксимації не повинно перевищувати 12-15 % для достатньо достовірного наближення регресії до реальної залежності. В нашому випадку результати свідчать про можливість використовування логарифмічної та поліноміальної моделей, для яких ця похибка склала відповідно 8,1 % та 11,5 %. Значно перевищує до-

пустиму величину ця похибка для лінійної регресійної моделі (23,9 % >> 15 %).

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, у досліджуваному регіоні на земній поверхні та на глибині понад 1300 м постійно відбувається перерозподіл напружено-деформованого стану в гірничих масивах, у зв'язку з чим одні ділянки інтенсивно підіймаються, інші опускаються. Виконана оцінка деформацій земної поверхні в регіоні проведення гірничодобувних робіт та запропоновані моделі їх впливу на стійкість земної поверхні представляє інтерес з погляду охорони навколишнього середовища, розміщення крупних наземних промислово − цивільних комплексів, вивчення сучасних рухів земної поверхні тощо.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Паранько І. С. Кривий Ріг – потенційна зона виникнення техногенно-природних і техногенних надзвичайних ситуацій / І. С. Паранько, Г. Я. Смирнова, О. В. Іванова // Геолого-мінералогічний вісник. – 2005. - № 1. – С. 5-9.
2. Денисов А. И. Результаты исследований составляющих современных движений земной поверхности Криворожья / А. И. Денисов // Современные движения земной коры. – 1984. – С. 138 -140.
3. Куліковська О. Є. Про необхідність досліджень геодинамічних процесів у Кривбасі / О. Є. Куліковська, В. Д. Сидоренко // Вісник геодезії і картографії. – 1998. - № 1. – С. 8-12.
4. Тяпкин К. Ф. О годичной компоненте современных вертикальных движений земной коры / К. Ф. Тяпкин, А. Г. Бондарук // Геофизический журнал. – 1983. - № 1. – С. 23-31.